



УДК 621.1

АНАЛИЗ ВОЗМОЖНОСТИ КОМПИЛЯЦИИ НТВ-ТОПКИ С ВОЗДУШНЫМ КОТЛОМ ПГУ-ВЦГ THE LOW-TEMPERATURE SWIRLING-TYPE FURNACE WITH THE AIR BOILER FOR THE IGCC COMPILATION POSSIBILITY ANALYSIS

Шмакова Лидия Александровна, магистрант каф. «Тепловые электрические станции», Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина, Россия, 620002, г. Екатеринбург, ул. Мира, 19. E-mail: sh.l.a.1995@mail.ru, Тел.: +7(912)622-80-02

Микула Владимир Анатольевич, канд. техн. наук, доцент каф. «Тепловые электрические станции», Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина, Россия, 620002, г. Екатеринбург, ул. Мира, 19. E-mail: mikoula@yandex.ru. Тел.: +7(912)664-87-89

Lydia A. Shmakova, Master student, Department «Thermal power plants», Ural Federal University named after the first President of Russia B.N.Yeltsin, 620002, Mira street, 19, Ekaterinburg, Russia. E-mail: sh.l.a.1995@mail.ru. Ph.: +7(912)622-80-02

Vladimir A. Mikula, Candidate of Engineering Sc., Associate Prof., Department «Thermal power plants», Ural Federal University named after the first President of Russia B.N.Yeltsin, 620002, Mira str., 19, Ekaterinburg, Russia. E-mail: mikoula@yandex.ru. Ph.: +7(912)664-87-89

Аннотация: В работе было рассмотрено использование низкотемпературной вихревой технологии, для её применения в схеме воздушного котла. Воздушный котел является одним из ключевых элементов в схеме гибридной ПГУ-ВЦГ с внешним сжиганием топлива на основе процессов термообработки угля и «внешнего» сжигания топлива. После анализа была выбрана схема воздушного котла.

Abstract: The article considered the use of low-temperature swirling-type technology, for its application in the air-boiler design. The air boiler is one of the key elements in the scheme of hybrid integrated gasification combined cycle with external fuel combustion based on processes of coal heat treatment and "external" combustion of fuel. The scheme of the air boiler was chosen after analysis.

Ключевые слова: ПГУ-ВЦГ; воздушный котел; вихревая топка; рециркуляция дымовых газов.

Key words: IGCC; air boiler; swirling-type furnace; flue gas recirculation.

Интерес использования твердых топлив в энергетике увеличивается в настоящее время. Одним из перспективных направлений использования природных ресурсов в виде угля ПГУ на твердом топливе является.

На базе Уральского энергетического института (УралЭНИИ) УрФУ выполняются исследования гибридной ПГУ ВЦГ с внешним сжиганием твердых топлив [1]. Воздушный котел (ВК) является одним из основных элементов в схеме гибридной ПГУ-ВЦГ с внешним сжиганием топлива на основе процессов термообработки угля и «внешнего» сжигания топлива. Сжатый воздух нагревается в ВК до 750-900 °С, а затем направляется в камеру сгорания.

Компримированный воздух до температуры 900 °С можно нагревать в конвективных поверхностях воздушного котла, поэтому было решено отказаться от радиационных поверхностей нагрева. В связи с этим возникает вопрос: как обеспечить необходимую температуру продуктов

сгорания (~950 °С) на входе в конвективную шахту?

Для поддержания относительно низкой температуры в топке предлагается использовать низкотемпературную вихревую топку, которая является современной эффективной технологией использования твердого органического топлива. Перспективность НТВ-технологии объясняется тем, что в энергетической стратегии России на период до 2035 года она рекомендуется для внедрения [2].

В России в 1970-х г.г. была разработана низкотемпературная вихревая (НТВ) технология сжигания. С 1970 по 1990 годы НТВ технология сжигания прошла широкую апробацию в энергетике.

Характерной чертой данной технологии является принцип факельного сжигания топлива углубленного помола в условиях многократной циркуляции частиц в зоне активного горения. За

счёт низкотемпературного вихря снижаются выбросы NO_x , что даст дополнительные экологические преимущества. Также преимуществами данной технологии являются стабильное воспламенение низкосортных топлив, работы в большом диапазоне колебаний характеристик топлива, безшлаковачная работа поверхностей нагрева.

Низкая чувствительность к изменениям характеристик топлива является сильной стороной НТВ технологии. Это позволяет сжигать несколько видов твердого топлива и унифицирует топку по топливу.

В настоящее время разработаны новые технологические схемы и конструкции горелочно-сопловых устройств вихревых топок для повышения эффективности НТВ технологии сжигания [3,4].

Схема НТВ-топки представлена на рисунке 1. Вихревая топка содержит камеру сгорания,

включающую стенки, переходящие в нижней части в воронку, по меньшей мере, одну горелку, вмонтированную в стенку камеры сгорания, а также сопла для подачи воздуха, одно из которых установлено в нижней части воронки, а другое - на стенке камеры сгорания, противоположной горелке, на уровне по высоте ниже горелки, сопло установлено на стенке камеры сгорания так, что его продольная ось пересекает смежную стенку воронки, расположенную со стороны сопла. На стенке камеры сгорания, противоположной горелке, установлено дополнительное сопло на уровне выше горелки. Продольная ось дополнительного сопла составляет угол $30-135^\circ$ относительно стенки камеры сгорания. Изобретение позволяет повысить степень выгорания топлива, а также выравнивание температурного поля в камере сгорания, что обуславливает снижение интенсивности отложений на стенках камеры сгорания, снижение генерации окислов азота и повышение степени связывания окислов серы [4].

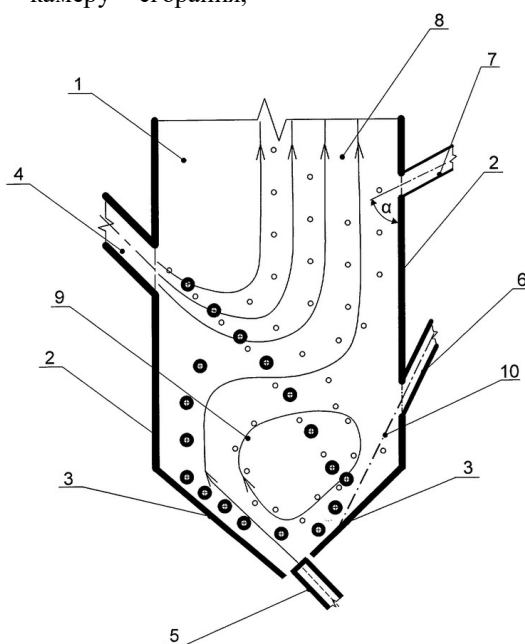


Рис. 1. Схема НТВ-топки [4]: 1 – камера сгорания, 2 – стенки, 3 – воронка, 4 – горелка, 5, 6 – сопла, 7 – дополнительное сопло для подачи воздуха, 8 – факел, 9 – вихревая зона горения, 10 – продольная ось

В 2004 г. в рамках Программы технического перевооружения и реконструкции электростанций ОАО «Тулэнерго» реализован проект перевода котла БКЗ-220-9,8 Новомосковской ГРЭС на НТВ-сжигание высокосольного, сильношлакующего подмосковного бурого угля, с обеспечением возможности работы на природном газе [5]. В процессе модернизации топка была заменена на газоплотную полуоткрытого типа, также был организован пережим фронтального экрана (доля пережима – 0,4) с установкой на нижней образующей под углом 45° к горизонтали 8 прямооточных пылеугольных горелок, с двухсопловой системой нижнего дутья, с двумя

ярусами третичного дутья на тыльной стене топки. После модернизации получилось отказаться от подсветки факела резервным топливом и поднять максимальную бесшлаковочную мощность котла, а также значительно улучшились показатели котла по вредным выбросам.

В 2006 г. был реализован пилотный проект модернизации котла БКЗ-85-1,3 Южной тепловой станции в г. Рубцовске [6]. При модернизации в топке (доля пережима - 0,36) было установлено 3 прямооточные горелки, двухсопловая система нижнего дутья, два яруса третичного дутья

В 2008 г. на Кировской ТЭЦ-4 реализовали проект модернизации котла БКЗ-210-13,8 для раздельного НТВ-сжигания кузнецких каменных углей (марок Г и Д), фрезерного торфа и природного газа в одной топке [7]. Топку предполагалось сделать газоплотной полуоткрытого типа (доля пережима - 0,4), оборудовать её 6 прямооточными пылевыми горелками (на фронтном выступе под углом 45° к горизонтали), двухсопловой системой нижнего дутья, тремя ярусами третичного дутья, расположенными на тыльной стене топки. После модернизации при работе на торфе температура факела в зоне активного горения находилась в пределах $1000...1100^\circ\text{C}$, при работе на каменном угле - $1200...1300^\circ\text{C}$.

В 2011 г. была выбрана низкотемпературная вихревая технология сжигания для повышения бесшлаковочной нагрузки котла энергоблока № 7 Назаровской ГРЭС [8].

Котел оборудовали НТВ-топкой полуоткрытого типа с газоплотным исполнением нижняя радиационная часть и твердым шлакоудалением. В частности, вихревую зону сверху ограничили выступом (доля пережима - 0,33), установив на нижней образующей 12 прямооточных пылевых горелок под углом 45° к горизонтали. В устье топочной воронки установлена двухсопловая система нижнего дутья. Также было установлено на тыльной стене топки два яруса третичного дутья (газы рециркуляции), 10 внутритопочных ширм Г-образной формы в вихревой зоне перпендикулярно задней стенке топки для снижения температуры факела. Для улучшения аэродинамики на выходе из топки предусмотрели выступ тыльного экрана

На первом этапе пуско-наладочных работ максимальная температура в зоне активного горения составила 1290°C , а на выходе из топки – 1250°C . На втором этапе было принято решение ввести подачу газов рециркуляции (с коэффициентом рециркуляции до 0,15) через нижний ярус третичного дутья для обеспечения интенсификации тепло- и массообменных процессов и снижения температуры в вихревой зоне активного горения. После ввода газов рециркуляции температура в зоне активного горения составила 1190°C , а температура на выходе из топочной камеры 1100°C .

В [9] обоснована эффективность использования только конвективных поверхностей нагрева в

воздушном котле (без радиационных поверхностей нагрева), однако на данный момент нет опыта использования топок с НТВ-технологией и без радиационных поверхностей нагрева. Введение газов рециркуляции помогло снизить температуры в зоне активного горения на Назаровской ГРЭС, поэтому есть вероятность, что удастся сделать топку воздушного котла с НТВ-технологией без поверхностей нагрева, а поддержание нужной температуры 1100°C будет обеспечиваться за счет рециркуляции газов.

Мы предлагаем использовать для ВК схему, представленную на рисунке 2, в которой отсутствуют поверхности нагрева в топке. В данной схеме сжигание топлива осуществляется в топке с низкотемпературным вихрем, поддержание низкой температуры при сжигании предлагается осуществлять за счет газового охлаждения (рециркуляцией продуктов сгорания с выхода конвективной шахты котла в вихревую и прямооточную зоны горения). В топке организуется выступ для улучшения аэродинамики (доля пережима – 0,33), устанавливается на нижней образующей 12 прямооточных пылевых горелок под углом 45° к горизонтали, двухсопловая система нижнего дутья, на тыльной стене два яруса третичного дутья.

Твердое топливо поступает в вихревую зону горения топки 1, а затем и в прямооточную 2. Далее продукты сгорания проходят поворотную камеру 13 и попадают в опускной газоход, где в конвективном воздухонагревателе 3 передают теплоту цикловому воздуху (схема противотока). За конвективным воздухонагревателем осуществляется забор продуктов сгорания на рециркуляцию, для поддержания низкой температуры в топке. Рециркуляция производится дымососом рециркуляции газов 5 в вихревую и прямооточную зоны горения топки. После конвективного воздухонагревателя продукты сгорания поступают регенеративный воздухоподогреватель 4, проходят систему очистки 10 и дымососом 11 сбрасываются в дымовую трубу 12.

В результате выбрана оптимальная схема топки воздушного котла, поэтому её моделирование ставится следующей задачей.

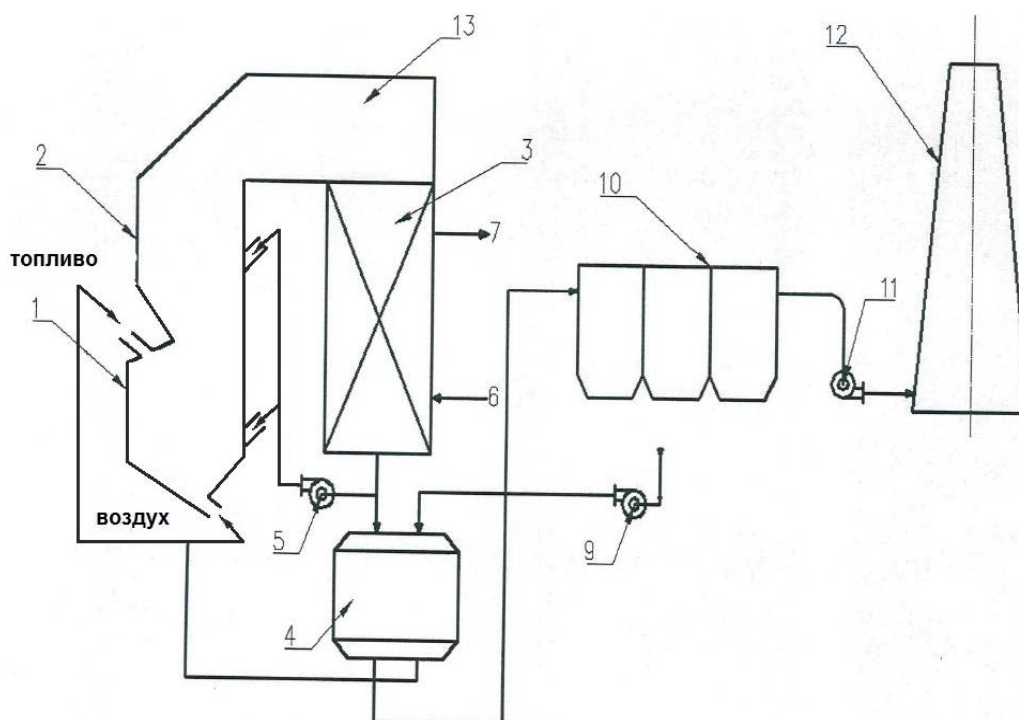


Рис. 2. Схема котельной установки с конвективной секцией нагрева компримированного воздуха:
 1 - вихревая зона горения, 2 - прямоточная зона горения, 3 - конвективный воздухоподогреватель,
 4 - регенеративный воздухоподогреватель, 5 - дымосос рециркуляции газов, 6, 7 - вход и выход
 компримированного воздуха, 8 - подвод твердого топлива, 9 - дутьевой вентилятор, 10 - система
 очистки дымовых газов, 11 - дымосос, 12 - дымовая труба, 13 - поворотная камера

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Богатова Т.Ф., Рыжков А.Ф., Вальцев Н.В., Осипов П.В., Гордеев С.И. Гибридные ПГУ на твёрдом топливе // Энергетик. 2014. №12. С. 12–16.
2. Проект Энергостратегии Российской Федерации на период до 2035 года (редакция от 01.02.2017). URL: <http://minenergo.gov.ru/node/1920> (дата обращения: 30.03.2017).
3. Патент 2253799 России. Вихревая топка / К. А. Григорьев, В. Е. Скудицкий, Ю. А. Рундыгин и др. – Оpubл. 10.06.05, Бюл. № 16.
4. Патент 2253801 России. Вихревая топка / К. А. Григорьев, В. Е. Скудицкий, Ю. А. Рундыгин и др. – Оpubл. 10.06.05, Бюл. № 16.
5. Григорьев, К. А., Скудицкий, В. Е., Аношин, Р. Г., и др., Опыт применения вихревой низкотемпературной технологии сжигания на котле БКЗ-220-100 // Энергетик. 2009. № 1. С. 24–26.
6. Аношин, Р. Г., Валиев, Ф. Р., Григорьев, К. А., и др., Опыт ступенчато-вихревого сжигания кузнецкого каменного угля // Сб. докл. IV науч.-практич. конф. "Минеральная часть топлива,

шлакование, загрязнение и очистка котлов", Челябинск, Россия. 2007. Т. II. С. 116–121.

7. Григорьев К.А., Скудицкий В.Е., Зыкин Ю.В., и др., Опыт низкотемпературного вихревого сжигания различных видов топлива в котле БКЗ-210-13,8 Кировской ТЭЦ 4 // Электрические станции. 2010. № 4. С. 9–13.
8. Скудицкий, В. Е., Аношин, Р. Г., Рундыгин Ю.А., Михайлов В.В., Рыжиков Н.В., Григорьев К.А. Решение проблем сжигания углей Канско-Ачинского бассейна в котле П-49 блока 500 МВт Назаровской ГРЭС // Электрические станции. 2017. № 2. С. 23–28.
9. Шмакова Л.А., Семенов Н.А., Кузнецова О.П., Микула В.А. Выбор схем воздухоподогревательной установки для ПГУ-ВЦГ // Энерго- и ресурсосбережение. Энергообеспечение. Нетрадиционные и возобновляемые источники энергии: материалы Международной научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых, посвященной памяти проф. Данилова Н. И. (1945–2015) – Даниловских чтений (Екатеринбург, 11–15 декабря 2017 г.). Екатеринбург: УрФУ. 2017. С. 430–433.